第6講　核反応

1

原子核に関する以下の問いに答えよ。計算結果は有効数字2桁で答えよ。

(1) 原子核は，陽子と中性子からなる。ウラン $^{235}_{92}\mathrm{U}$ の原子核は，陽子と中性子それぞれ何個からなるか。

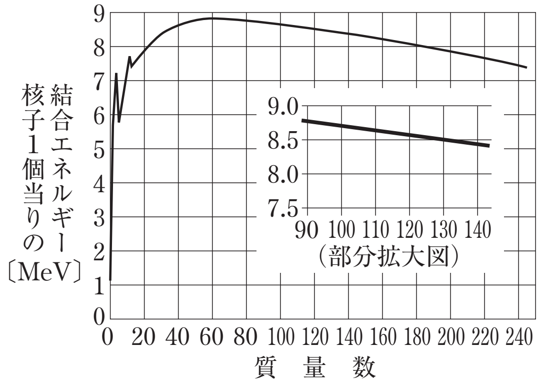
(2) 陽子の質量 $m_\mathrm{p}=1.6726\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，中性子の質量 $m_\mathrm{n}=1.6749\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$ であり，$^{235}_{92}\mathrm{U}$ の原子核の質量 $M_\mathrm{u}=3.9019\times10^{-25}\,\mathrm{kg}$ である。

(i) 原子核の質量は，原子核を構成する粒子（核子）の質量の和より小さく，この質量の差を質量欠損という。$^{235}_{92}\mathrm{U}$ の場合の質量欠損 ΔM_u はいくらか。

(ii) この質量欠損は何ジュールのエネルギーに相当するか。
ただし，光の速さ $c=3.00\times10^{8}\,\mathrm{m/s}$ である。

(iii) $^{235}_{92}\mathrm{U}$ の核子1個当たりの結合エネルギーはいくらか。

(3) 以下の文章の［　　］を適当な語句や数値でうめよ。



右図に，核子1個当たりの結合エネルギーを質量数に対して示す。図からこのエネルギーは，質量数［(イ)］の付近で最も大きいことがわかる。このエネルギーの大きな原子核では，核子間の結合は［(ロ)］く，したがって，原子核はこわれ［(ハ)］い。質量数の大きい（240あたりの）原子核が中位の原子核に［(ニ)］すると，また質量数の小さな（2あたりの）原子核が［(ホ)］すると，結合エネルギーの［(ヘ)］に相当するエネルギーが放出される。例えば，$^{235}_{92}\mathrm{U}$ 核1個が質量数140と95の2個の原子核に［(ニ)］したとすると，［(ト)］Jのエネルギーが放出されることになる。ただし，$1\,\mathrm{MeV}=1.60\times10^{-13}\,\mathrm{J}$ である。この値をもとに，1kgの $^{235}_{92}\mathrm{U}$ が完全に上述のような［(ニ)］をした場合に発生するエネルギーを求めると，［(チ)］Jが得られる。

< Note >

2

ウラン$^{235}_{92}$Uの原子核に，低速の中性子$^{1}_{0}$nを当てると，クリプトン$^{92}_{36}$Krとバリウム$^{141}_{56}$Baの２つの原子核に分裂した。この核分裂で放出される核エネルギーを求めてみよう。次の文章中の空欄①については㋐〜㋓のうち正しいものを１つ選び，②，③，④，⑥は数値，⑤は数式で記入しなさい。

核分裂では，原子核が分裂すると同時に何個かの高速の中性子が放出される。核分裂の前後では（①　㋐　質量数，㋑　原子番号，㋒　運動量，㋓　エネルギー）の和が保存されることを用いて，この核分裂で放出される中性子の数は（　②　）個と求められる。原子の質量は，炭素$^{12}_{6}$C原子１個の質量の（　③　）分の１を単位とする原子質量単位 [u] を用いて表すことができる。ウラン$^{235}_{92}$U，中性子$^{1}_{0}$n，クリプトン$^{92}_{36}$Kr，バリウム$^{141}_{56}$Baの質量を，それぞれ，235.0439 [u]，1.0087 [u]，91.8973 [u]，140.9139 [u] とすると，この核分裂により失われる質量は，小数点以下第４位まで求めると（　④　）[u] となる。アインシュタインの相対性理論によれば，質量とエネルギーとは同等であって，真空中の光の速さを c [m/s] とすると，質量 m [kg] は，エネルギー（　⑤　）[J] に相当する。したがって，$c=3.00\times10^{8}$ [m/s]，1 [u] $=1.66\times10^{-27}$ [kg] とすると，１個のウラン$^{235}_{92}$Uが核分裂するとき放出される核エネルギーは，有効数字３桁で表すと（　⑥　）[J] となり，約 200 [MeV] であることがわかる。

＜ Note ＞

3

ウラン$^{238}_{92}\mathrm{U}$は，ヘリウム$^{4}_{2}\mathrm{He}$の原子核であるα粒子を放出してトリウム$^{234}_{90}\mathrm{Th}$に変わる。この核反応は次のように表せる。

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

ウラン$^{238}_{92}\mathrm{U}$，トリウム$^{234}_{90}\mathrm{Th}$，ヘリウム$^{4}_{2}\mathrm{He}$の原子核の質量をそれぞれ，237.9997u，233.9936u，4.0015u として以下の問いに答えよ。ここで，u は原子質量単位($1\mathrm{u}=1.66\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$)である。また，光の速さは$3.0\times10^{8}\,\mathrm{m/s}$とせよ。

(1)　この核反応によって生じたエネルギーを求めよ。

(2)　反応が起こる前，$^{238}_{92}\mathrm{U}$は静止していたとする。反応後に$^{234}_{90}\mathrm{Th}$とα粒子が互いに十分遠くに離れた場合について次の問いに答えよ。

(a)　α粒子の速さv_{α}と$^{234}_{90}\mathrm{Th}$の速さv_{T}の比$v_{\alpha}/v_{\mathrm{T}}$を求めよ。

(b)　α粒子のもつ運動エネルギーを求めよ。

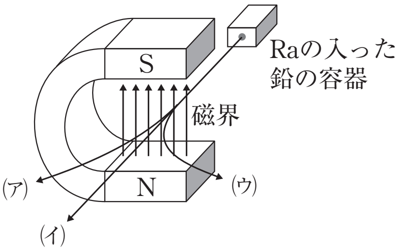
(3)　トリウム$^{234}_{90}\mathrm{Th}$は，さらに２回のβ崩壊によって比較的安定な原子核に変わる。この原子核の原子番号Zと質量数Aを求めよ。

＜ Note ＞

第6講　確認テスト

次の文章中の空欄について選択肢のうち正しいものを1つ選びなさい。

ウランやラジウムのように，原子核の中には不安定のものがあり，放置すると自然に放射線を出して他の原子核に変化する。この現象を放射性崩壊といい，このような原子核を放射性原子核という。$^{226}_{88}$Raは，α 線とよばれる放射線を出して，$^{222}_{86}$Rnに放射性崩壊（α 崩壊）する原子核である。α 線を一様な磁界中に通すと図の［(1)］の軌跡を描く。このことから，ラザフォードによって α 線の正体がヘリウム原子核であることが明らかにされた。α 崩壊ではヘリウム原子核が放出されるため，元の原子核の質量数を A，原子番号を Z とすると，α 崩壊後の原子核の質量数は［(2)］，原子番号は［(3)］と表される。



放射性崩壊には原子核内の中性子が陽子に変化して電子を放出する現象もある。これを β 崩壊といい，原子核は質量数が同じで原子番号が1だけ大きな原子核に変わる。$^{226}_{88}$Raは最終的に安定な原子核である $^{206}_{82}$Pbに変化するが，以上のことから $^{206}_{82}$Pbに変化するまでに α 崩壊を［(4)］回，β 崩壊を［(5)］回くり返すことが分かる。

［(1)］の選択肢

①　ア　　②　イ　　③　ウ　　④　該当なし

［(2)］の選択肢

①　A-4　　②　A-2　　③　A-1　　④　A

［(3)］の選択肢

①　Z-4　　②　Z-2　　③　Z-1　　④　Z

［(4)］の選択肢

①　5　　②　4　　③　2　　④　0

［(5)］の選択肢

①　5　　②　4　　③　2　　④　0

＜ Note ＞

第６講　解答

1

(1)　陽子：92 個，中性子：143 個

(2)　(i)　3.2×10^{-27}kg

　　(ii)　2.9×10^{-10}J

　　(iii)　1.2×10^{-12}J

(3)　(イ)　60　(ロ)　強　(ハ)　にく　(ニ)　核分裂　(ホ)　核融合

　　(ヘ)　差　(ト)　3.0×10^{-11}　(チ)　7.7×10^{13}

2

①　(ア)　②　3　③　12　④　0.2153

⑤　mc^2　⑥　3.22×10^{-11}

3

(1)　6.9×10^{-13} [J]

(2)　(a)　58.5　(b)　6.8×10^{-13} [J]

(3)　$Z=92$，$A=234$

第６講　確認テスト

【解答】

1　①　　2　①　　3　②　　4　①　　5　②

【解説】

1　α 線は正の電荷をもつので，ローレンツ力の向きを考えて<u>ア</u>

2，3　α 崩壊すると，質量数が 4，原子番号が 2 減るので，

$$\begin{cases} \text{質量数} \quad : \underline{A-4} \\ \text{原子番号} : \underline{Z-2} \end{cases}$$

4，5　まず，質量数の変化は 226－206＝20 なので，

α 崩壊が<u>5 回</u>おきねばならない。このとき

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha\ 5\text{回}} {}^{206}_{78}\mathrm{X}$$

となるので，原子番号を 82 にするには，さらに β 崩壊が<u>4 回</u>おこればよい。